

一般財団法人 日本海事協会殿
業界要望による共同研究 研究開発報告書

研究題目

「国産船用SO_xスクラバーの開発及び実船搭載に
関する研究開発」

研究参加者

川崎汽船株式会社

JMU5044SHIPPING S.A.

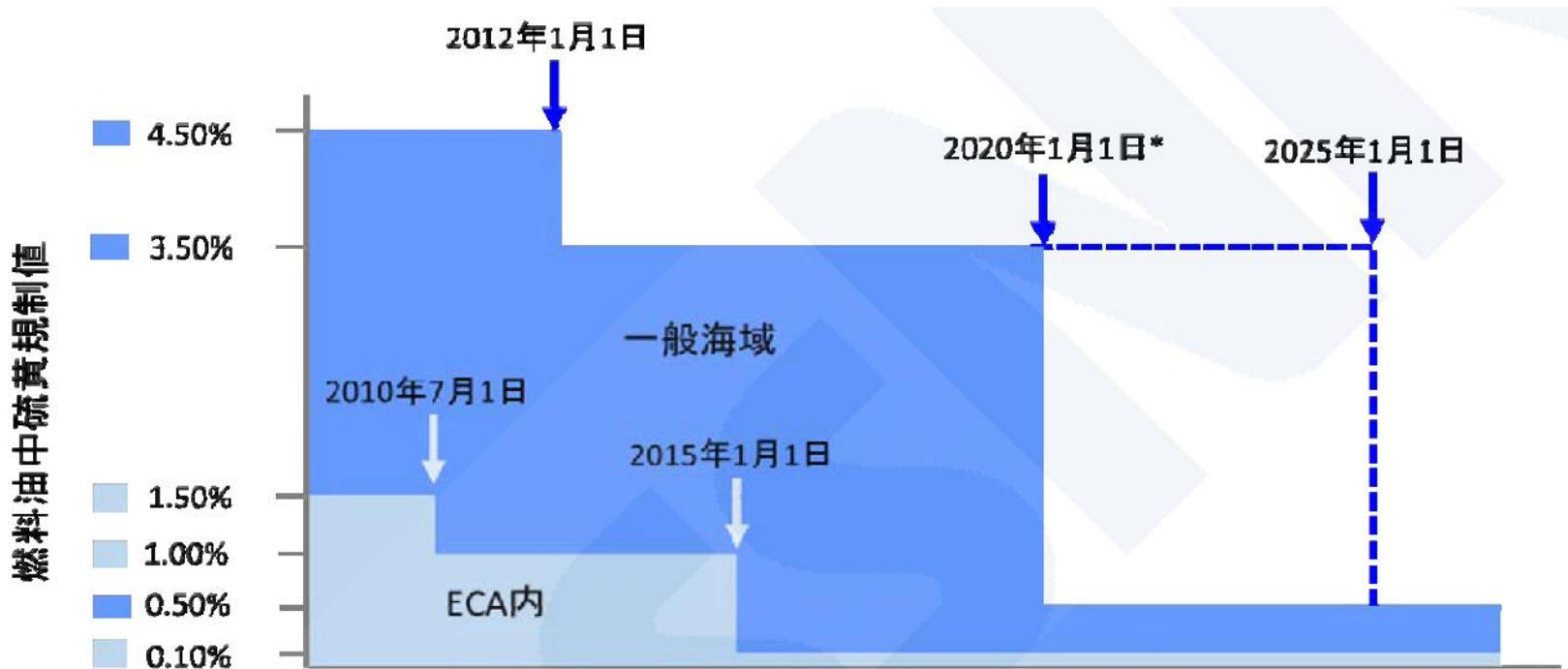
ジャパン マリンユナイテッド株式会社

三菱重工業株式会社

三菱化工機株式会社

“MARPOL条約付属書VI第14規則”による船舶排ガス規制

- 硫黄酸化物(SOx)の放出規制海域(ECA: Emission Control Area)で硫黄分濃度が0.1%を超えない燃料油の使用を義務付けるSOx排出規制が2015年1月1日に発効
- グローバル海域で硫黄分濃度が0.5%を超えない燃料油の使用を義務付けるSOx排出規制が2020年1月1日に発効予定



* 2018年までに実施される低硫黄燃料油の市場動向調査の結果によっては、2025年以降に延長される可能性がある

“MARPOL条約付属書VI第4規則”

低硫黄燃料油使用の代替手段として、排ガス中の硫黄酸化物を規制値以下に低減できる装置（EGCS: Exhaust Gas Cleaning System）の使用を認める。

⇒安価で十分な供給能力のある従来の重油燃料の継続使用が可能なEGCSに対する需要が高まり、ECAを航行する船舶を中心に普及が進みつつある

⇒IMO海洋環境保護委員会（MEPC）でEGCSの指針を示したガイドライン採択
MEPC.259(68) 2015 GUIDELINES FOR EXHAUST GAS CLEANING SYSTEM

MEPC 68/21/Add.1
Annex 1, page 1

ANNEX 1

RESOLUTION MEPC.259(68)
(adopted on 15 May 2015)

2015 GUIDELINES FOR EXHAUST GAS CLEANING SYSTEMS

THE MARINE ENVIRONMENT PROTECTION COMMITTEE,

RECALLING Article 38(a) of the Convention on the International Maritime Organization concerning the functions of the Marine Environment Protection Committee (the Committee) conferred upon it by international conventions for the prevention and control of marine pollution from ships,

➤ 目的

本事業では国産船用SOxスクラバーの開発、及び実船搭載による実用化、認証要領の確立を目的とし実施した。

➤ 事業内容

① SOxスクラバー装置開発、及び実船への搭載

(三菱重工業、三菱化工機、ジャパンマリンユナイテッド)

② IMO Scheme-BによるSOxスクラバー装置の認証要領の確立

(三菱重工業、三菱化工機)

③ SOxスクラバー装置の運転による性能確認と運転要領、マニュアルの整備

(三菱重工業、三菱化工機)

④ 実運航に於ける運転要領の検証、データモニタリング、及び全体評価

(川崎汽船、三菱重工業、三菱化工機)

本事業の工程及び実績

	H25年下期 (2013年度)	H26年上期 (2014年度)	H26年下期 (2014年度)	H27年上期 (2015年度)	H27年下期 (2015年度)	H28年上期 (2016年度)
本船建造日程				▽ 起工	▽ 進水	▽ 就航
装置基本計画		→				
装置詳細設計		→				
装置製造		→	→			
装置製造検査 陸上試験			→	→		
IMO Scheme-B 認証要領の確立		→	→	→	→	→
					▽ 認証要領確立 2016/1E	
機器納入				▽ → 機器納入完了 2015/6M		
造船所 搭載検討		→				
船上搭載				→	→	
海上運転、性能確認 運転マニュアル確認					▽ 海上試運転 2015/12E	
実運航データモニタリング (自動データ採取装置検証) 運航マニュアル検証・整備						→
中間報告				▽ 2015/4E		
最終報告						▽ 2016/5E

計画 → ▽

実績 → ▽

搭載船概要

- 船名: M.V. DRIVE GREEN HIGHWAY
- 船種: 7,600 Units Pure Car/Truck Carrier
- IMO number: 9728069
- 旗国: Panama



➤ 運用条件

- 最大排ガス処理量: abt 120,000 kg/h
= 主機 100%負荷 + 発電機 1台 100%負荷の排ガスに相当
- 排ガス温度: 350度以下
- 燃料油中硫黄分: 最大3.5%

➤ 排ガス処理対象機関

- 主機
Model: KHI B&W 7S60ME-C8.2
Number: 1 set
Brake horsepower: 13,000 kW (100% load)
- 発電機
Model: Daihatsu 6DE-23
Number: 3 sets
Engine output: 1,480 kW (100% load)

※上記以外の燃焼機器からの排ガスは処理しない

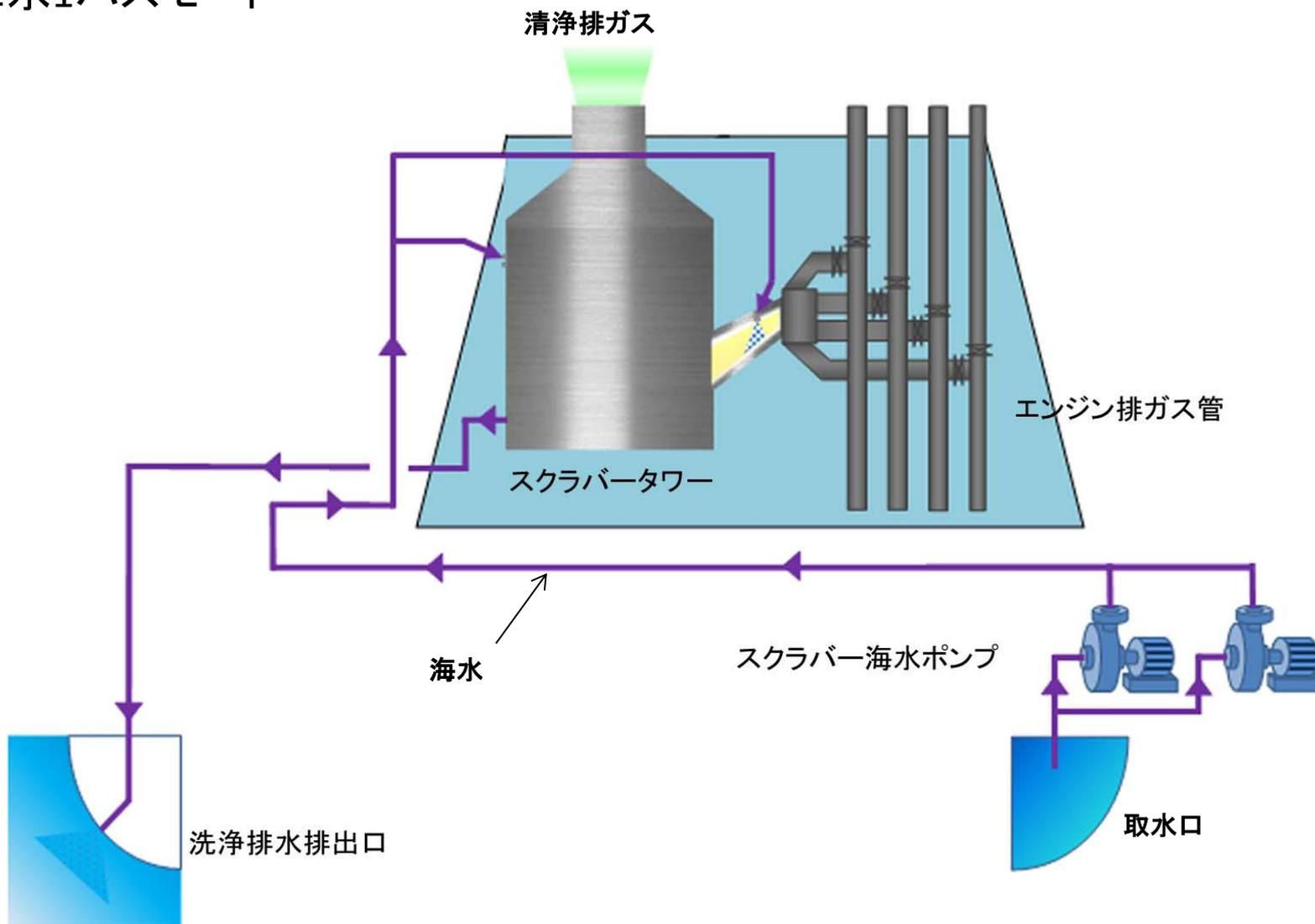
▶ ハイブリッドSO_xスクラバーとは

本システムは“清水循環モード”と“海水1パスモード”という2つの排ガス洗浄方式を有する“ハイブリッド型”であり、モードを適宜切替えて運用することで大洋、河川、港内等すべての航行海域での排ガス洗浄が可能である。

- 清水循環モード (Fresh water closed-cycle mode)
 - 2015年1月1日以降に硫黄分が0.1%を超えない燃料油の使用が強制化された排出規制海域で使用することを想定した洗浄モード
 - 清水をスクラバータワー内に散布して排ガスから硫黄酸化物を分離・吸収し、洗浄に使用した清水を苛性ソーダによりアルカリ度を調整し、再度洗浄水として使用する
- 海水1パスモード (Sea water open-cycle mode)
 - 主に2020年以降に排出規制海域以外の一般海域で硫黄分が0.5%を超えない燃料油を使用することが義務化された場合に当該海域を使用することを想定した洗浄モード
 - 船外から取水した海水を直接排ガスに散布してSO_xを吸収洗浄しそのまま船外に排出する。清水循環モードに比べ洗浄水流量が大きくなるが、苛性ソーダの注入や排水処理が不要

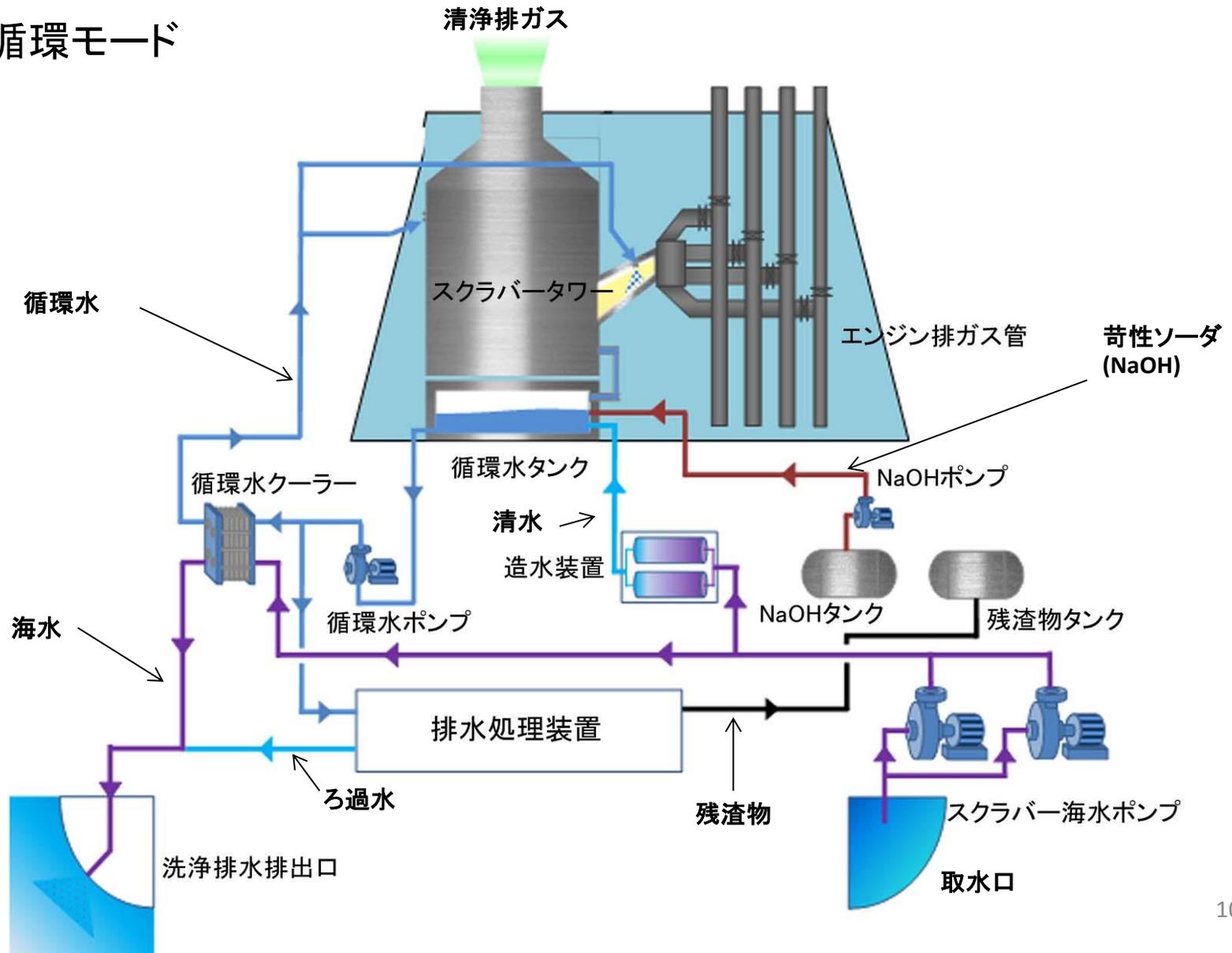
洗浄方式

海水1パスモード



洗浄方式

清水循環モード



協議事項

- 日本海事協会殿と開発／運用に係る課題を共有し、多くのアドバイス支援を受け開発を加速した
 - スクラバーシステムの補機区分
 - 自動化要件
 - 電気品仕様
 - スクラバーシステム船内ドレンの取り扱い
 - 苛性ソーダ取り扱いに係る適用規格
 - 工場試験・海上試運転要件
 - 船級承認図面詳細
 - 排ガスダンパーの制御
 - EGCSガイドラインの解釈
 - NTC2008援用条項の整理
 - 旗国認証スキーム
 - 法定船上搭載図書ガイドライン適合性鑑定スキーム

スクラバータワー・コンテナモジュール



スクラバータワー外観



主要機器のコンテナパッケージ外観

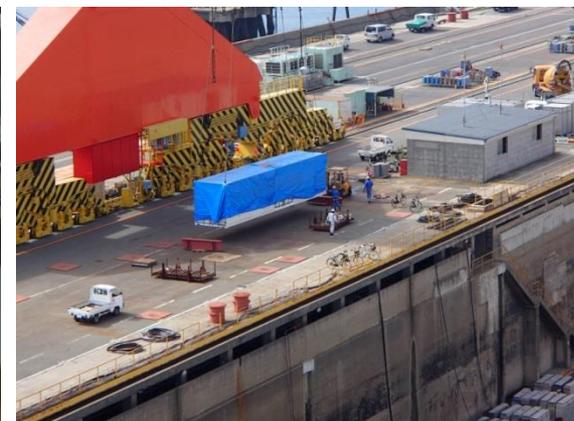
搭載工程

2015/6B	スクラバータワー及びコンテナNo.1, No.2造船所納入
2015/6M	スクラバータワー搭載
2015/7M	内部付着品、充填剤搬入
2015/7E	ISOタンクコンテナ搭載
2015/9E	コンテナNo.1, No.2搭載
2015/10M～	コミッショニング

スクラバータワー搭載の様子



コンテナNo.1, No.2搭載の様子



EGCSは以下のScheme-A及びScheme-B のいずれかの方法で搭載船の**主管庁による承認**を受ける必要がある旨EGCSガイドラインに明記

- ・Scheme-A: 陸上試験での性能確認により型式承認を取る方法
- ・Scheme-B: 都度、船上搭載後の排ガス性状の連続モニタリング結果によりEGCSガイドラインへの適合を実証する方法で、排ガス監視装置の承認が要求される

⇒Scheme-Aによる認証は陸上でのフルスケール試験を実施する必要があるため、**Scheme-Bにより主管庁の承認を受けることが現実的選択肢**

EGCS認証プロセスScheme-Bの課題

主管庁、認定代行機関 (Recognized Organization :RO)、船主、造船所、EGCSメーカー、ECA沿岸国政府と関係先が複雑多岐にわたる。一方でその手順・スキームについてEGCSガイドラインに具体的な記載が無い。



認証スキームの確立

プロジェクトの成功のためには、早い段階で各関係者の分担及びワークフローの整理をしておくべき。**関係者内で協議し共通認識を得ておくことが重要。**

➤ 試験運用許可“Exemption”

- EGCS搭載船はEGCSの性能を実証するための試験運用を実航海中に実施する許可“Exemption”を主管庁から取得できる(MARPOL条約附属書VI第3規則)

<取得申請に必要な情報>

- Ship's name
- IMO NO.
- Call sign
- EGCS maker/type/serial NO.
- Fuel oil combustion unit maker/type/the number
- Start/end day of exemption

⇒Call signの情報が必要であるため、申請は仮国籍証書取得後となる

- 本承認“Certification”
 - Scheme-Bの認証は、本システムがEGCSガイドラインの規定を満たしていることを実証し、主管庁により本承認“Certification”を取得することで完了

 - EGCSガイドラインで主管庁による承認が要求されている事項
 - 法定文書 (SECP,ETM-B,OMM) のEGCSガイドライン適合性
 - 排ガス監視システムのEGCSガイドライン適合性
 - EGCSのEGCSガイドラインへの継続的適合性

- Scheme-Bの認証に必要な書類(法定文書)
 - SECP : SOx Emissions Compliance Plan
SOx排出コンプライアンス遵守の大方針を明記したもの
 - ETM-B : EGCS Technical Manual for Scheme B
EGCS概要を記載したもの
 - OMM : Onboard Monitoring Manual
排ガス・排水性状の監視記録方針を記載したもの
 - EGC Record Book : EGC記録簿又は自動記録装置
コンプライアンスデータを記録したもの
(EGC Record Book Formにデータ記録方法を記載)

船上搭載法定文書

STRICTLY CONFIDENTIAL



EGC RECORD BOOK FORM

Mitsubishi hybrid SOx scrubber system

This form is prepared for the Exhaust Gas Cleaning System. This form should be installed. It should be maintained, and the maximum emissions should be recorded in the

STRICTLY CONFIDENTIAL



ONBOARD MONITORING MANUAL

Mitsubishi hybrid SOx scrubber system

1. Automatic
Following the Data Storage Guidelines, they can be used for Running. Daily spot checks should verify proper operation in paragraph 1. These listed Data Storage > Compliance. The EGC unit status and exhaust in CDSU as follows:

This monitoring manual provides Guidelines for Exhaust Gas Cleaning. This OMM should be installed. It should be

1. Information on the ship with the system installed
- (1) Ship name: Drive Green Highway
 - (2) Ship type: Pure Car/Truck Carrier
 - (3) IMO number: 9728069
 - (4) Flag: Panama

2. Manual recording
Following the Guidelines in EGC Manual > Maintenance. Maintenance APPENDIX- > Wash Water analysis

2. Identification of the system
- (1) Manufacturer: Mitsubishi Kakoki Kaisha, Ltd.
 - (2) Model/Type: MHSF4000
 - (3) Serial number: A1008472HS001

EGC RECORD BOOK FORM-MHSF4000
MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.
COPYRIGHT (C) 2015, MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.

(NK) under the authority of the Government of the Republic of Panama

1/18

1/21

1/25

1/3

STRICTLY CONFIDENTIAL



EXHAUST GAS CLEANING SYSTEM TECHNICAL MANUAL - SCHEME B

Mitsubishi hybrid SOx scrubber system

SOx EMISSIONS COMPLIANCE PLAN

Mitsubishi hybrid SOx scrubber system

This compliance plan is prepared in accordance with Paragraph 9 of IMO Resolution MEPC.259 (68) -- "2015 Guidelines for Exhaust Gas Cleaning Systems."

This SECP should be approved by the flag administration and kept on board the ship with the scrubber system installed. It should also remain available for surveys, as required.

1. Information on the ship with the system installed

- (1) Ship name: Drive Green Highway
- (2) Ship type: 7,600 Units Pure Car/Truck Carrier
- (3) IMO number: 9728069
- (4) Flag: Panama

2. Identification of the system

- (1) Manufacturer: Mitsubishi Kakoki Kaisha, LTD.
- (2) Model/Type: MHSF4000
- (3) Serial number: A1008472HS001



NIPPON KAIJI KYOKAI

STATEMENT OF FACT

No. KB16MM0265

Ship name:	DRIVE GREEN HIGHWAY
Ship type:	Pure Car/Truck Carrier
IMO Number:	9728069
Flag:	Panama
Scrubber System Manufacturer:	Mitsubishi Kakoki Kaisha, Ltd.
Model/Type:	MHSF4000
Serial number:	A1008472HS001

Upon reviewing the following documents submitted by Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.:

- ETM-B-MHSF4000 ver.5
- OMM-MHSF4000 ver.5
- SECP-MHSF4000 ver.5
- EGC RECORD BOOK FORM-MHSF4000 ver.2

It was confirmed:

1. That the above documents contain all descriptions required by Resolution MEPC.259(68) "2015 Guidelines for exhaust gas cleaning systems" (hereinafter referred to as the Guidelines);
2. That the specifications of exhaust gas monitoring system, the data recording and processing device and the washwater monitoring system described in the above documents comply with the applicable requirements of the Guidelines; and
3. That, in relation to the analysis of nitrates in the discharged water, the analysis method specified in US EPA 353.2 or JIS K 0102 which is based on the same principle as standard seawater analysis described in Grasshoff et al. specified in 10.1.5.2 of the Guidelines is applied.

Date of Issue: 29 January 2016
Place of Issue: Tokyo, Japan

Y. Shibata
General Manager of Machinery Department
NIPPON KAIJI KYOKAI

This Report is issued subject to the condition that it is understood and agreed that neither the Society nor any of its Committees is under any circumstances whatever to be held responsible for any inaccuracy in any report or certificate issued by this Society or its Surveyors or in any entry in the Record or other publication of the Society or for any error of judgment, default or negligence of its Officers, Surveyors or Agents.



- 艀装岸壁係留中に下記のコミッショニングを実施。
動作・機能に問題が無いことを確認した。
 - INSTRUMENTATION & CONTROL TEST
 - FUNCTIONAL ADJUSTMENT UNDER WET RUNNING
 - SAFETY DEVICE TEST ※
 - SCRUBBING TEST IN MOORING AT BERTH ※
 - DEMONSTRATION OF COMPLIANCE DATA RECORDING ※
 - INTERNAL VISUAL INSPECTION
 - FUNCTION TEST OF COMPLIANCE SENSORS ※
- (※日本海事協会殿検査員立会項目)

- 海水1パスモード及び清水循環モードで実際に排ガスを洗浄処理し、本システムの性能を確認

- 様々な運転条件でスクラバーを運転し、排ガス性状、排水性状、各運転パラメーターを計測することで有用なデータを取得

- 海上試運転概要及び環境条件
 - 日付: 2015年12月28日
 - 試験海域: 五島列島南部及び熊本県西部海域
 - 使用燃料: 硫黄分2.9% C重油
 - 外気温度: 約10°C
 - 海水温度: 20°C
 - 海水pH: 8.29~8.33

SO_x規制値

スクラバ出口でSO₂及びCO₂濃度を計測
空燃比を考慮してSO₂(ppm)/CO₂(% v/v)で評価

MEPC.259(68) 1.3

Fuel oil sulphur limits recorded in regulations 14.1 and 14.4 and corresponding emissions values

Fuel Oil Sulphur Content (% m/m)	Ratio Emission SO ₂ (ppm)/CO ₂ (% v/v)
4.50	195.0
3.50	151.7
1.50	65.0
1.00	43.3
0.50	21.7
0.10	4.3

Note: The use of the Ratio Emissions limits is only applicable when using petroleum based Distillate or Residual Fuel Oils. See Appendix II for application of the ratio method.

<例>硫黄分濃度3.5%の燃料油を同0.1%燃料油相当のSO_x排出量に抑えるために必要な排ガス浄化装置の脱硫率は $(151.7-4.3)/151.7=97.2\%$

排水pH規制値

排水pHは以下の条件のうちどちらか一方を満足すればよい
(i)船外排出口で $\text{pH} \geq 6.5$ または海水出入り口pH差が2以内
(ii)開口端から船外排出流に沿って4m下流の平水中 $\text{pH} \geq 6.5$
(主官庁が認めた計算手法により、4m下流の平水中 $\text{pH}=6.5$ となる
ときの計測箇所のpHを規制値として用いることができる)

10.1.2.1 The washwater pH should comply with one of the following requirements which should be recorded in the ETM-A or ETM-B as applicable:

- .1 The discharge washwater should have a pH of no less than 6.5 measured at the ship's overboard discharge with the exception that during manoeuvring and transit, the maximum difference between inlet and outlet of 2 pH units is allowed measured at the ship's inlet and overboard discharge.
- .2 The pH discharge limit, at the overboard monitoring position, is the value that will achieve as a minimum pH 6.5 at 4 m from the overboard discharge point with the ship stationary, and which is to be recorded as the overboard pH discharge limit in the ETM-A or ETM-B. The overboard pH discharge limit can be determined either by means of direct measurement, or by using a calculation-based methodology (computational fluid dynamics or other equally scientifically established empirical formulae) to be left to the approval by the Administration, and in accordance with the following conditions to be recorded in the ETM-A or ETM-B:

排水濁度規制値

洗浄排水の最大連続濁度が入口水に比べて25FNU(ホルマジン濁度)又は25NTU(比濁計濁度)を超えないこと。
12時間につき15分は上記規制値の20%までは許容される。

10.1.4.3 The maximum continuous turbidity in washwater should not be greater than 25 FNU (formazin nephelometric units) or 25 NTU (nephelometric turbidity units) or equivalent units, above the inlet water turbidity. However, during periods of high inlet turbidity, the precision of the measurement device and the time lapse between inlet measurement and outlet measurement are such that the use of a difference limit is unreliable. Therefore all turbidity difference readings should be a rolling average over a 15-minute period to a maximum of 25 FNU. For the purposes of this criteria the turbidity in the washwater should be measured downstream of the water treatment equipment but upstream of washwater dilution (or other reactant dosing) prior to discharge.

10.1.4.4 For a 15-minute period in any 12-hour period, the continuous turbidity discharge limit may be exceeded by 20%.

排水PAH規制値

多環芳香族炭化水素 (PAH: Polycyclic aromatic hydrocarbon) は発がん性物質でEU EQS (Environmental Quality Standard) でも管理対象物質に指定。
 PAHは多くの種類があることから排ガス中に多く含まれるフェナントレンを代表物質として監視・規制。
 起動時を考慮し、12時間につき15分は下記規制値の100%までは許容される。

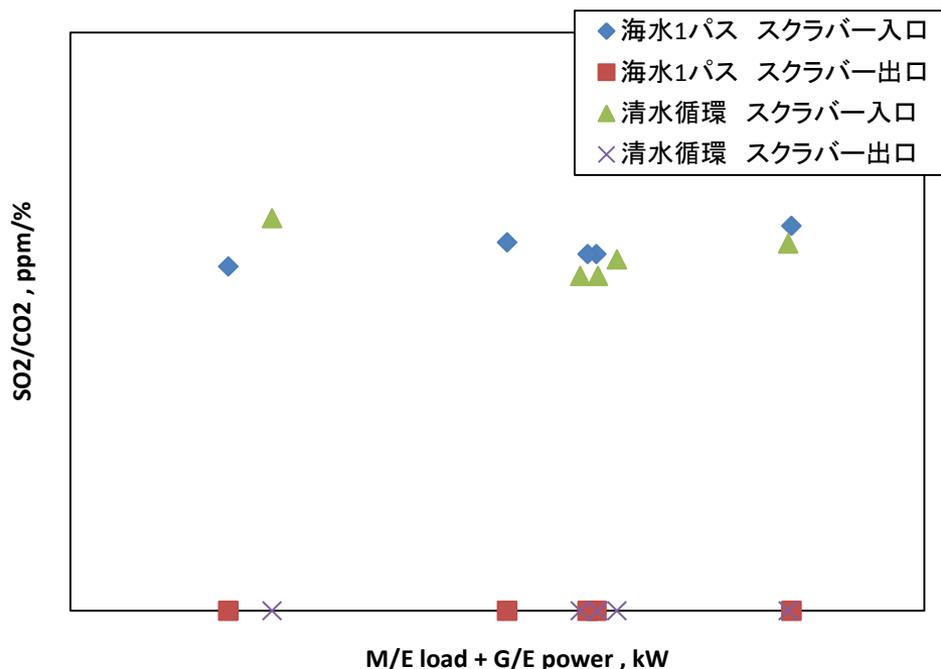
MEPC.259(68) 10.1.3.3

Flow Rate (t/MWh)	Discharge Concentration Limit ($\mu\text{g/L PAH}_{\text{phe}}$ equivalents)	Measurement Technology
0 - 1	2250	Ultraviolet Light
2.5	900	- " -
5	450	Fluorescence*
11.25	200	- " -
22.5	100	- " -
45	50	- " -
90	25	- " -

MW: 機関MCR又は燃焼ユニット80%負荷

脱硫性能確認結果

- EGCSガイドラインによる排ガス排出基準値
 - 燃料油中硫黄分0.1%相当排出基準値: $\text{SO}_2/\text{CO}_2(\text{ppm}/\%) = 4.3$
 - 燃料油中硫黄分0.5%相当排出基準値: $\text{SO}_2/\text{CO}_2(\text{ppm}/\%) = 21.7$
- 機関出力及びスクラバー運転モードに係わらず、スクラバー出口における SO_2/CO_2 はほぼゼロであり、排出規制を満足している



排ガスSO2/CO2と機関出力の関係

全体評価(まとめ)

- 本事業は国産船用SOxスクラバーの開発、及び実船搭載による実用化、認証要領の確立を目的として実施した
- 三菱重工業と三菱化工機が共同開発したハイブリッドSOxスクラバーを川崎汽船の新造大型自動車船“M.V. DRIVE GREEN HIGHWAY”へ実船搭載し、海上試運転及び実航海中の試験運用を実施した結果、EGCSガイドラインによる排ガス規制及び排水規制を満足する性能を有していることが確認された
- 本システムは船員の安全および本船の安全運航のため様々な保護装置を設けており、これまでのスクラバー運転でも安定した機関運転を実現している
- EGCS認証プロセスについて、パナマ政府、日本海事協会殿、川崎汽船、三菱重工業で協議を重ねた結果共通認識を得るに至り、実プロジェクトを通じてEGCSの認証スキームを構築した
- 今後も、外航航路におけるスクラバー運転データおよび知見を収集し、我が国海外航海運発展の一助としたい

本研究開発は、日本海事協会殿の「業界要望による共同研究」のスキームにより同協会の研究支援を受けて実施しました